

The Galactic Shock and the Interstellar Gas (銀河衝撃波と星間気体)

著者	澤 武文
号	521
発行年	1977
URL	http://hdl.handle.net/10097/24030

氏名・（本籍）	さわ 澤	たけ 武	やす 文
学位の種類	理	学	博 士
学位記番号	理博第	5 2 1	号
学位授与年月日	昭和 5 2 年	3 月 2 5 日	
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当		
研 究 科 専 攻	東北大学大学院理学研究科 （博士課程）天文学専攻		
学位論文題目	The Galactic Shock and the Inter- stellar Gas （銀河衝撃波と星間気体）		
論文審査委員	（主査） 教 授 高 窪 啓 弥	教 授 菊 池 定 衛 門 教 授 高 橋 真 一	

論 文 目 次

序 論

第Ⅰ章 星間気体の自己重力の銀河衝撃波に及ぼす作用

第Ⅱ章 銀河衝撃波領域における星間気体の密度分布と系統的運動

第Ⅲ章 銀河系における中性水素と銀河衝撃波

結 語

論文内容要旨

序 論

渦状銀河における星間気体の運動は著しい非線型運動となり、渦状腕に沿って大規模な衝撃波（銀河衝撃波）を形成する。銀河衝撃波は星間気体を強く圧縮し、またその運動を大きく変化させるので、星間気体の力学的及び物理的状态に非常に大きな作用を及ぼすと考えられる。

本論文では、銀河衝撃波及びそれに関連した問題、即ち星間気体の自己重力の銀河衝撃波に及ぼす作用（第Ⅰ章）、銀河衝撃波領域における星間気体の密度分布と系統的運動（第Ⅱ章）、そして銀河系における中性水素の分布と銀河衝撃波（第Ⅲ章）について論ずる。

第Ⅰ章 星間気体の自己重力の銀河衝撃波に及ぼす作用

星間気体は、銀河衝撃波によりその大部分が銀河腕に集中することが知られている。他方、星は密度波により銀河腕にいくらか集中するが、その割合は比較的小さい。従って、銀河腕においては、星間気体の密度のゆらぎは星のそれに比べて無視できなくなり、星間気体それ自身の運動に対して星間気体の自己重力も重要な役割を演ずると思われる。この星間気体の自己重力の星間気体の運動に及ぼす作用を調べることを試みた。

取り扱いの最も簡単な場合として、 z 方向に物理量は変化しないとし、一様で、無限に長い円筒の系における星間気体の運動を調べた。このように取り扱うことにより、Poisson 方程式は2次元化され、数学的取り扱いも容易になる。また、星間気体の熱的過程は力学的過程に比べて十分に速いので、星間気体を等温気体として取り扱う。

衝撃波面における不連続条件は、質量流束、運動量流束及び重力が衝撃波面で連続であるという条件から求めた。星間気体を等温気体と仮定しているので、エネルギー流束は連続である必要はない。

実際の計算は、銀河腕による物理量の擾乱が主として腕に垂直方向に変化するとし、又、解は不連続条件を満たし、銀河半周で周期的になるという条件のもとで数値計算を行う。計算は、星の自己重力の強さを表わす量と星の密度波の強さを表わす量をパラメーターとし、その他の物理量は太陽近傍の物理量の値をもとにして行った。

計算の結果、自己重力が強くなればそれだけ星間気体の非線型運動も強まり、星の密度波の重力がある臨界の値よりも強まれば、従来の計算結果と同様衝撃波を形成する。この臨界値も自己重力が増加すれば小さくなり、自己重力は密度波の重力の一部を肩代わりするものと考えられる。しかしながら、密度波による擾乱力と星間気体の *epicyclic* 運動との間に働く共鳴現象により、自己重力がある程度以上強まれば、星間気体のふるまいの性質が変化することが示された。即ち、自己重力が小さい時には星間気体の重力場と密度波の重力場はほぼ同じ位相であるが、自己

重力が密度波の重力と同程度かそれ以上になると位相が逆転する。これは密度波の重力場を背景として固定して考えており、自己重力による密度波への反作用を全く無視したためと考えられる。

密度波が全く存在しない場合は、その系は完全な星間気体だけの系と考えられる。このような系においても定常でかつ周期的な星間気体による密度波が存在し得るかどうかを調べた結果、今までの取り扱いの近似の範囲内では、星間気体だけによる密度波や衝撃波は存在しないことが示された。この結果は Lynden-Bell & Ostriker によって指摘された“反密度波理論”に対応するものと考えられ、これらのことから星の密度波による重力は、星間気体の非線型運動に大きな役割を果たすということがいえよう。

星間気体の自己重力で衝撃波が強まり、星間気体はより圧縮されると考えられる。これは、銀河衝撃波が渦状腕に沿っての星の生成の引き金的役割を果たすという点で注目されよう。

これらの取り扱いは一様で無限に長い円筒の系を仮定したが、星間気体が薄い円盤状に分布し、 z 方向に対しては有効の厚さが一定であるガウス分布をしているという仮定のもとでの取り扱いと全く同じ近似であることを示した。従って、星間気体の厚さ一定という仮定のもとで、円盤状銀河に対しても上記の結果は有効であると考えられる。

第 II 章 銀河衝撃波領域における星間気体の密度分布と系統的運動

星間気体は希薄な *intercloud medium* と星間雲からなっていて、互いに圧力平衡の状態にあると考えられている。星間気体に対してこのような二相モデルを用いると、銀河衝撃波は *intercloud medium* に形成されその中を星間雲が運動することになり、星間雲を個々の分子と見なすような気体には銀河衝撃波は形成されない。従って星間雲が銀河衝撃波に突入するとこれらの2つの気体間に速度差を生じ、力学的相互作用を生じる。このような状況のもとで星間雲の運動を調べそれが星間気体の密度分布や系統的運動にどのような作用を及ぼすかを調べる。

力学的相互作用としては、星間気体の乱流運動による乱流粘性力を考慮する。また、星間雲と *intercloud medium* は局所圧力平衡にあると仮定する。このようなもとで、銀河衝撃波を形成する *intercloud medium* の分布を与え、その中での星間雲の運動を求める。計算は、乱流の平均速度が 7 km/sec 、平均の大きさが $0 - 3 \text{ pc}$ について銀河中心から $4 - 10 \text{ kpc}$ にわたって行った。

計算の結果、乱流の平均の大きさが 1 pc 以上あれば、星間雲は衝撃波領域で充分減速され、その数密度は衝撃波のいくらか下流で最大となる。また、星間雲の運動も衝撃波領域での粘性力により衝撃波に垂直な方向には減速され、平行な方向には加速される。これらの結果をもとに、星間気体の密度分布及び系統的運動を求めると、従来の銀河衝撃波理論から予想されていた衝撃波領域での星間気体の密度や系統的運動の急激な変化がかなりなめらかになり、観測から得られ

ている結果をよく説明できることが示された。

第Ⅲ章 銀河系における中性水素と銀河衝撃波

星間気体の大部分は水性中素であると考えられている。従って銀河系における中性水素の分布を調べることは、銀河系の構造を調べるうえで重要なものとなる。銀河衝撃波の存在のため、星間気体の大部分が渦状腕上に集中する。この中性水素から発せられる 21 cm 線の強度分布を理論的に求め、これを観測と比較することは銀河衝撃波の存在の観測的証拠の手がかりを得るために非常に有効であると思われる。

ここでは、従来の銀河衝撃波による星間気体の分布と線型密度波理論によって得られる分布をもとに、銀河系の星間気体の分布モデルをそれぞれ作り、それから得られる 21 cm 線の強度分布を求め、衝撃波の存在が強度分布にどのような特徴となって現われ、観測的にはどうかということを、これら2つのモデルを比較することにより調べる。

計算は銀経が $15^\circ - 100^\circ$ の範囲に限って行われた。計算の結果、衝撃波モデルと線型密度波モデルの違いは以下の3点で著しいことが示された。

- (i) 渦状腕を視線方向に見る所では衝撃波モデルのほうが強度が強く、またその等強度曲線の形も非対称が強く現われる。
- (ii) 渦状腕と渦状腕の間を視線方向に見る所では衝撃波モデルのほうが強度は弱く等強度曲線図上でははっきりとした谷となって現われるが、線型密度波理論ではそのような谷は現われない。
- (iii) モデルから得られる星間気体の系統的運動は線型モデルによって得られるものよりもかなり急激に変化する。

以上のことを観測から得られている強度分布と比較すると、(i)と(iii)で述べた違いは、星間気体の分布や運動の不規則性を考慮するとそれほど決定的なものとは思えない。しかしながら、(ii)で述べた衝撃波モデルの等密度曲線に現われる谷は、これらの星間気体の不規則性を考慮しても、観測的にはっきりと現われており、この点で衝撃波モデルのほうが観測とよく一致することがいえる。

結 語

最後に、これらの問題にいくつかの示唆を行って本論を終る。

論文審査の結果の要旨

本論文は、渦状銀河に於いて生ずる大規模な衝撃波に関する諸問題を理論的に取り扱ったもので、星間ガスの自己重力の衝撃波に及ぼす影響、衝撃波領域に於けるガスの分布及び運動、銀河系内のガスの分布と衝撃波理論との比較を主題としたものである。

先ず、第一章に於いては、銀河衝撃波の結果として星間ガスが銀河の腕の部分に集中するため、このガスの自己重力が無視し得ない場合があることを指摘し、これを考慮に入れて衝撃波を取り扱い、ガスの自己重力がその他の物質（主として恒星）の空間分布中に生ずる密度波による重力の一部を肩代りし、自己重力とともに衝撃波の強さが増加することを示した。従って、ガスは従来考えられていたよりも圧縮されやすく、銀河の腕に沿った星の生成に好都合であり、更に副次的な腕の形成にも有利であることを見出した。また、ガスの自己重力が卓越する場合には、ガス及びその他の物質中の密度波の位相が一致している場合は不安定で、むしろ位相が著しく異なる場合が実現されるであろうことも述べられている。

第二章は銀河衝撃波の近くに於ける星間ガスの振舞について考察したもので、星間ガスを星間雲と雲間媒質との二相よりなるものとし、このようなガスが衝撃波に突入した時の両者の乱流粘性による相互作用を考慮して、星間ガスの密度分布及び運動を論じている。即ち、星間雲の運動は衝撃波領域に於いても不連続的には変化せず、滑らかに変化し、これに応じて、星間ガスの密度分布に於ける不連続も従来考えられていたものに較べて著しく小さくなること、ガス密度最大の場所が衝撃波の場所とは一致せず、やゝ下流にあることなどが示される。これらはいずれも観測的事実をよく説明するものであり、この理論に基いて計算した銀河の回転曲線も観測と定性的な一致を示す。

第三章は線型密度波理論と衝撃波理論とが銀河系内の水素原子の観測をどの様に説明し得るかを論じたもので、水素輝線の輪郭、輝度温度及び末端速度の経度一視線速度依存などに於いて衝撃波理論がすぐれていることを示している。

以上、本論文は銀河衝撃波及び星間ガスに関する種々の新知見を示し、この分野の研究に重要な寄与をなしたものであるとともに、著者が自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。よって沢武文提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。